

Hybrid Active Filter Untuk Meredam Resonansi Harmonisa Pada Sistem Pembangkitan di Industri

Limboto Limantara

Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra
e-mail: limboto@petra.ac.id

Abstrak

Makalah ini mengajukan tentang filter aktif hybrid untuk meredam resonansi harmonisa pada sistem pembangkitan listrik di industri. Sistem ini mempunyai filter aktif dengan daya rendah/kecil dan filter pasif yang di tune pada harmonisa ke 5. Hasil percobaan menunjukan hasil yang prospektif yang mana sistem dapat mengurangi harmonisa ke 5 dan ke 7 secara signifikan.

Kata kunci: Aktif Filter, resonansi harmonisa, tegangan harmonisa, kualitas daya, inverter PWM.

Abstract

The paper describes a hybrid active filter for reducing harmonics resonance in the industrial power generation system. The system involves a low/medium power active filter and a tuned passive filter on the 5th harmonics. The experiment result shows a prospective result that could reduce the 5th and 7th harmonics significantly.

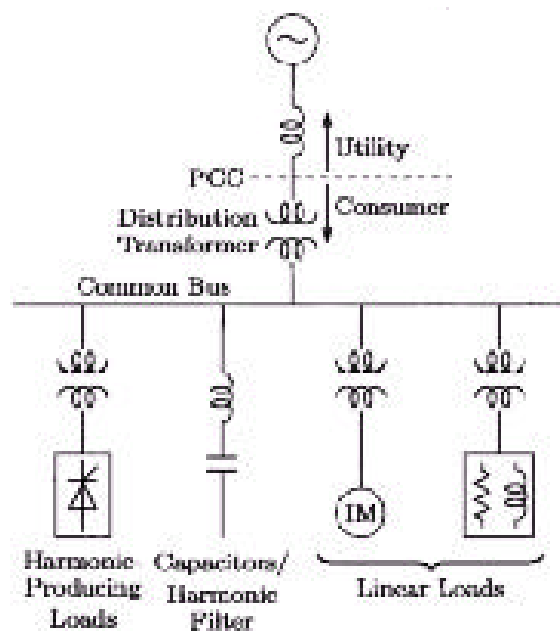
Keywords: Active filter, harmonics resonance, voltage resonance, power quality, PWM inverters.

Pendahuluan

Makalah ini menjelaskan tentang prinsip operasi filter campuran/hybrid dan membahas metode pendeteksian untuk filter aktif yang digunakan pada filter campuran. Hasil percobaan yang diperoleh dari model laboratorium sebesar 20kW membuktikan ketahanan hidup filter campuran dan keefektifannya dalam meredam harmonisa.

Resonansi Harmonisa

Gambar 1 menunjukkan sistem pembangkit industri, dimana beban/load linear dan non linear, kapasitor untuk perbaikan faktor daya dan filter pasif disambungkan pada bus. Bagian utama dari trafo distribusi yang dipasang oleh konsumen disambungkan ada PCC, sedangkan suplai sekunder beban linear dan non linear melalui bus. Sistem pembangkit bisa mengakibatkan bertambahnya harmonisa sebagai akibat dari resonansi seri dan paralel antara kapasitor bank dan induktor bocor pada trafo distribusi.

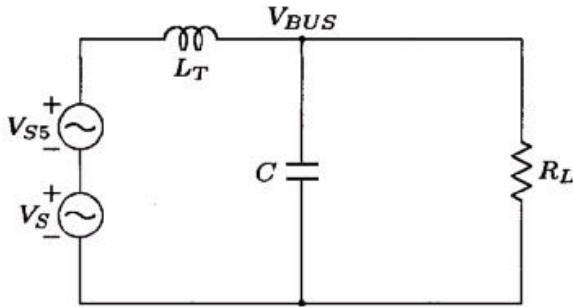


Gambar 1. Industrial Power System

Gambar 2 menunjukkan sirkuit satu fasa yang sama dengan sistem pembangkit menurut anggapan bahwa hanya tegangan harmonisa ke 5 yang ada pada PCC. Disini L_T adalah induktor bocor pada trafo; C adalah kapasitas kapasitor perbaikan faktor pembangkit; R_L adalah resistansi yang sama dengan beban. Tegangan bus V_{BUS} meliputi tegangan V_{BUS} harmoni ke 5 yang diperoleh melalui persamaan 1.

Catatan: Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Mei 2002. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Elektro volume 2, nomor 2, September 2002.

$$V_{BUS5} = \frac{1}{(1-(5\omega)^2 L_T C + (\frac{j5\omega L_T}{R_L}))} V_{S5} \quad (1)$$



Gambar 2. Rangkaian ekuivalen satu fasa

Hal ini menunjukkan bahwa pertambahan harmonik terjadi pada sistem pembangkit listrik industri. Ketika frekuensi resonansi antara L_T dan C bersamaan dengan frekuensi harmonisa ke 5, disederhanakan sebagai berikut:

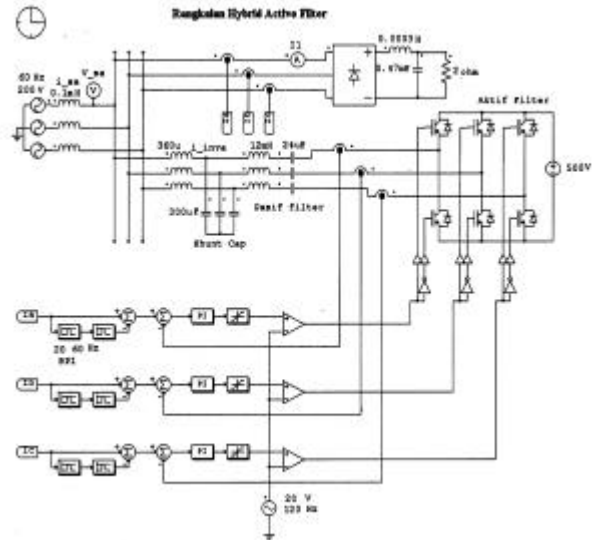
$$V_{BUS5} = \frac{R_L}{j5\omega L_T} V_{S5} \quad (2)$$

Resonansi harmonisa memperbesar tegangan harmonisa ke 5 sekitar 4-10 kali pada kondisi muatan penuh karena L_T memiliki nilai induktansi sebesar 2-5%.

Filter Aktif Hybrid

1. Sistem Percobaan

Gambar 3. Menunjukkan konfigurasi yang dibentuk untuk percobaan ini. Table I mengikhtisarkan rangkaian pada gambar 3. Sistem pembangkit industri mempunyai data : 200 V, 60 Hz dan 20 kVA. Filter aktif terdiri dari satu inverter PWM sumber tegangan tiga fasa dengan menggunakan 6 IGBT. Masing-masing inverter disambungkan seri dengan filter pasif yang di tune pada ke 5. Perhatikan bahwa rating filter aktif sebesar 0,14 kVA, yang hanya sebesar 0,7 % dari 20kVA, sedangkan rating dari filter pasif adalah 0,43 kVA atau 2%. Sebuah induktor L_T (= 7%) disambungkan seri ke bawah pada PCC, untuk menunjukkan induktor bocor pada trafo distribusi. Kapasitor pengalir C (= 70%) disambungkan paralel pada bus (sebagai kapasitor bank). Kombinasi bentuk induktor dan kapasitor sirkuit resonan seri dan/atau paralel, frekuensi resonan yang berada sekitar frekuensi harmonisa ke 5. Beban yang mengandung ke 5 yang terdiri dari rectifier tiga fasa digunakan untuk menstimulasi tegangan harmonisa .



Gambar 3. Blok Diagram Sistem Simulasi

TABLE I
CIRCUIT CONSTANTS

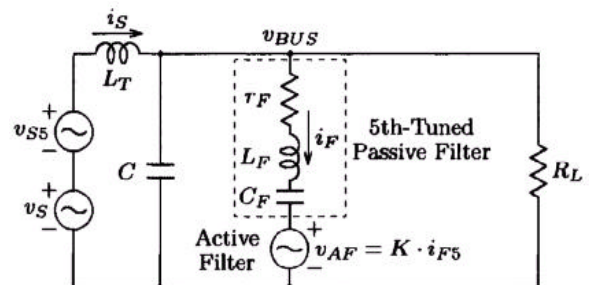
5th-Tuned Passive Filter	$L_F = 12 \text{ mH}$, $C_F = 24 \mu\text{F}$, $Q = 10$, 0.43 kVA (2%)
Active Filter	0.14 kVA (0.7%)
Shunt Capacitor	$C = 900 \mu\text{F}$, 14 kVA (70%)
Leakage Inductance	$L_T = 360 \mu\text{H}$ (7%)

3 ϕ , 200-V, 60-Hz, 20-kVA base

2. Prinsip Pengoperasian Filter Aktif

Gambar 4 menunjukkan sirkuit ekuivalen fase tunggal untuk sistem pembangkit listrik industri yang memasang filter campuran/ hybrid pada bus. Filter aktif mendeteksi arus harmoni ke 5 yang mengalir kedalam filter pasif, i_{F5} dan memperkuat i_{F5} oleh gain K yang menentukan tegangan sebagai berikut:

$$v_{AF}^* = K \cdot i_{F5} \quad (3)$$



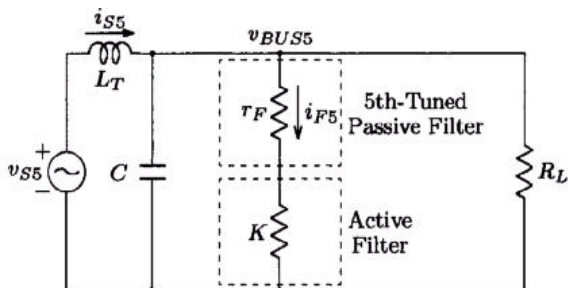
Gambar 4. Single-phase equivalent circuit

Akibatnya, filter aktif bertindak sebagai resistor murni dari $K [\Omega]$ untuk tegangan dan arus

harmonik ke 5. Impedansi filter campuran pada frekuensi harmonik ke 5 Z_5 didapatkan...

$$Z_5 = j5\omega L_F + \frac{1}{j5\omega C_F} + r_F + K,$$

Disini, T_F adalah nilai resistansi resistor pada filter pasif dan L_F dan C_F adalah nilai induktan dan kapasitan. Ketika gain K dikontrol pada tingkat $K < 0$, filter aktif menunjukkan resistor negatif pada sirkuit eksternal, yang meningkatkan faktor kualitas filter pasif, Q . Dengan anggapan bahwa filter pasif dipasang pada frekuensi harmonik ke 5, impedansi filter pasif adalah sama dengan T_F .



Gambar 5. Single-phase equivalent circuit for 5th harmonics

Gambar 5 menunjukkan sirkuit yang sama dengan berfokus pada frekuensi harmonik ke 5. Jelas bahwa Z_5 adalah 0 sepanjang $K = -T_F$. Ini menunjukkan bahwa tidak ada tegangan harmonik ke 5 yang muncul pada bus. Secara umum, V_{BUS5} , yang adalah tegangan harmonik ke 5 yang muncul pada tegangan bus, dan I_{S5} yang adalah arus harmonik ke 5 pada suplai arus didapatkan:

$$V_{BUS5} = \frac{1}{1 - (5\omega)^2 L_T C + j5\omega L_T \left(\frac{1}{R_L} + \frac{1}{r_F + K} \right)} V_{S5} \quad (5)$$

$$I_{S5} = \frac{j5\omega C + \frac{1}{R_L} + \frac{1}{r_F + K}}{1 - (5\omega)^2 L_T C + j5\omega L_T \left(\frac{1}{R_L} + \frac{1}{r_F + K} \right)} V_{S5} \quad (6)$$

Assuming that $K = -r_F$ yields

$$V_{BUS5} = 0 \quad (7)$$

$$I_{S5} = \frac{1}{j5\omega L_T} V_{S5} \quad (8)$$

Ketika arus berlebih mengalir kedalam filter pasif, filter aktif mengontrol gain K menjadi nilai positif. Filter aktif bertindak sebagai resistor positif, yang menghambat filter pasif dari penyerapan kelebihan arus harmonik ke 5. Arus harmonik ke 5 yang mengalir menuju filter pasif, I_{F5} didapatkan

$$I_{F5} = \frac{\frac{1}{r_F + K}}{1 - (5\omega)^2 L_T C + j5\omega L_T \left(\frac{1}{R_L} + \frac{1}{r_F + K} \right)} V_{S5} \quad (9)$$

Dengan anggapan bahwa tidak muatan kondisi $R_L = \infty$ menyederhanakan persamaan diatas sebagai berikut :

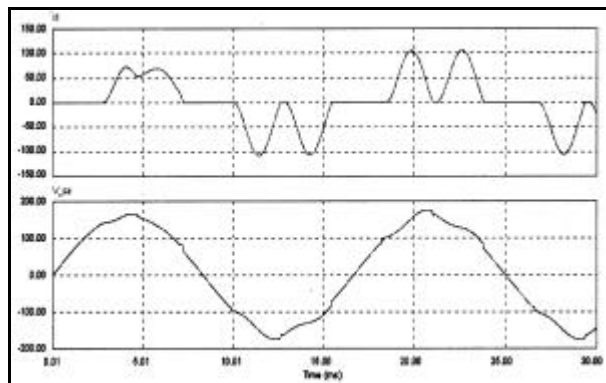
$$I_{F5} = \frac{1}{(1 - (5\omega)^2 L_T C)(r_F + K) + j5\omega L_T} V_{S5} \quad (10)$$

Ini menunjukkan bahwa penyesuaian gain K efektif dalam mengurangi I_{F5} .

Hasil-Hasil Percobaan

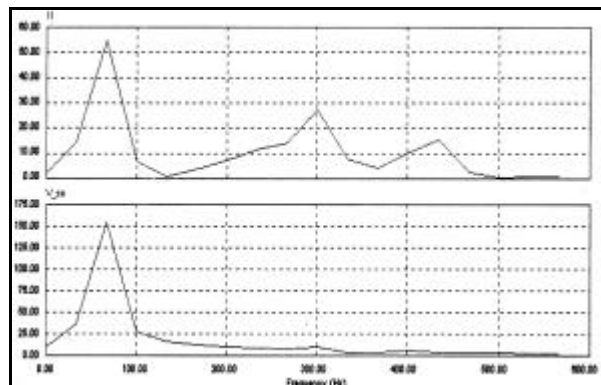
1. Pengaruh Filter Hybrid Pada Resonansi Harmonisa

Gambar 6 menunjukkan bentuk arus dan tegangan sumber harmonisa tanpa filter.



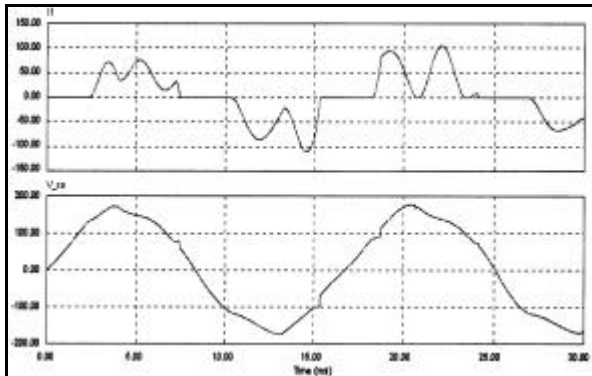
Gambar 6. Bentuk Tegangan dan Arus Tanpa Filter

Gambar 7 menunjukkan spectrum (FFT) Tegangan dan Arus tanpa Filter. Disini terlihat (pada arus) adanya harmonisa ke 5 (300 Hz) dan harmonisa ke 7 (420 Hz)



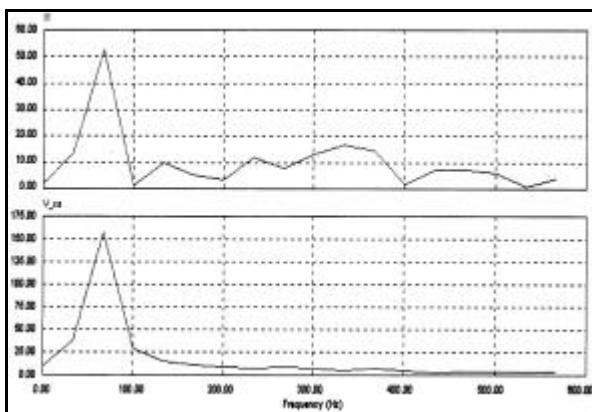
Gambar 7. Bentuk Spektrum Tegangan dan Arus Tanpa Filter

Gambar 8 menunjukkan bentuk arus dan tegangan sumber harmonisa dengan filter pasif (yang ditune pada 300 Hz)

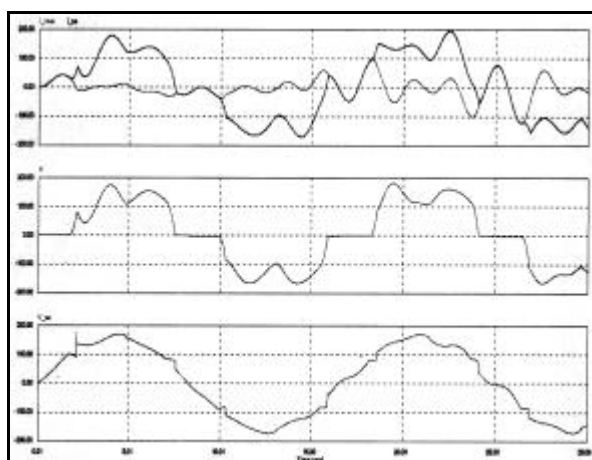


Gambar 8. Bentuk Tegangan dan Arus dengan Filter Pasif

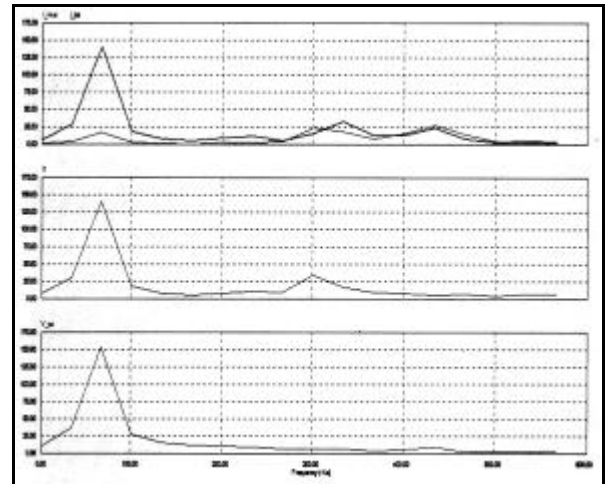
Gambar 9 menunjukkan spectrum (FFT) arus dan tegangan sumber harmonisa dengan filter pasif (yang ditune pada 300 Hz) disini terlihat adanya penurunan arus harmonisa ke 5 (300 Hz) dan arus harmonisa ke 7 (420 Hz).



Gambar 9. Bentuk Spektrum Tegangan dan Arus dengan Filter Pasif



Gambar 10. Bentuk Tegangan dan Arus dengan Hybrid Active Filter



Gambar 11. Bentuk Spektrum Tegangan dan Arus dengan Hybrid Active Filter
Hasil diatas menggunakan filter aktif (hybrid) dengan setting Band Pass Filter : center 60 Hz. Disini terlihat adanya penurunan harmonisa arus ke 5 dan ke 7 jika di bandingkan dengan filter pasif. Injeksi arus yang dikeluarkan oleh inverter hanya dominan pada frek 300 Hz dan 420 Hz.

Kesimpulan

Makalah ini mengajukan tentang filter aktif campuran yang dimaksudkan untuk meredam resonansi harmonisa pada sistem pembangkit listrik industri. Analisa teoritis dan percobaan yang dilakukan dalam makalah ini telah membuktikan ketahanan dan keefektifan biaya pada filter campuran. Makalah ini menghasilkan kesimpulan sebagai berikut.

- 1) Filter campuran bisa mengurangi arus harmonisa ke 5 dan ke 7 yang muncul pada bus.
- 2) Daya yang diperlukan pada aktif filter kurang dari 1% dari beban.
- 3) Filter aktif yang bertindak sebagai resistor pada frekuensi harmoni ke5 mencegah filter pasif agar tidak kelebihan arus.

Daftar Pustaka

- [1] Hideaki Fujita, Takahiro Yamasaki, Hirofumi Akagi, "A Hybrid Active Filter for Damping of Harmonic Resonance in Industrial Power Systems," *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 2, pp. 215-222, March 2000
- [2] MyWay , Powersim ver 5 (full version)